

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-102258

(43)Date of publication of application : 15.04.1994

(51)Int.Cl.

G01N 29/10

G01B 17/00

(21)Application number : 04-143106

(71)Applicant : KAWASAKI HEAVY IND LTD
CHUBU ELECTRIC POWER CO INC

(22)Date of filing : 20.04.1992

(72)Inventor : ITOGA KOSUKE
OGATA TAKAMASA
HIRASAWA HIDEYUKI
MISUMI TAKANARI
UEDA SUMIHIRO
MIKI OSATAKE
OWAKI HIROO
FURUIKE HARUTAKA
SUGITA YUJI
ONDA KATSUHIRO
OKUMURA TAKAAKI

(30)Priority

Priority number : 03113681

Priority date : 19.04.1991

Priority country : JP

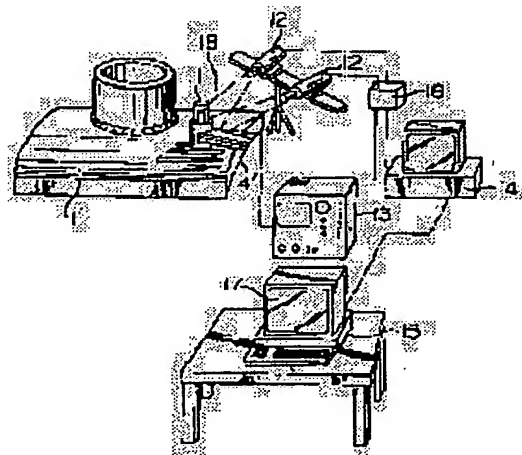
(54) METHOD AND EQUIPMENT FOR ULTRASONIC FLAW DETECTION

(57)Abstract:

PURPOSE: To realize positive flaw detection by subjecting a three-dimensional work having complex free curved face to ultrasonic flaw detection and displaying a defective part thereof three-dimensionally as a multicolor graphic image.

CONSTITUTION: External shape of a work 1' is measured by means of a laser light while, thickness and rear surface shape are measured by means of an ultrasonic probe 4', a CCD camera, or a PSD camera 12. Measurement data is fed to a three-dimensional graphic unit 16 where a multicolor three-dimensional image is displayed. Relative position, size, and the like of defective part are then identified positively to determine flaw detecting conditions which are then stored as a reference data for later flaw detection or ultrasonic flaw detection of other work. Since the position and size of defective part are imaged three-dimensionally along with the shape of the work 1', defective part can be measured accurately and countermeasure can be taken.

Furthermore, aerial measurement or underwater flaw detection can be carried out in one processing environment without requiring two-dimensional operation.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 18.06.1993

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 19.08.1997

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3007474

[Date of registration] 26.11.1999

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 09-15302

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 18.09.1997

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-102258

(43)公開日 平成6年(1994)4月15日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 N 29/10	5 0 1	6928-2 J		
G 0 1 B 17/00		Z		

審査請求 有 請求項の数31(全 14 頁)

(21)出願番号 特願平4-143106

(22)出願日 平成4年(1992)4月20日

(31)優先権主張番号 特願平3-113681

(32)優先日 平3(1991)4月19日

(33)優先権主張国 日本(JP)

(71)出願人 000000974

川崎重工業株式会社

兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号

(71)出願人 000213297

中部電力株式会社

愛知県名古屋市東区東新町1番地

(72)発明者 糸賀 興右

兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号 川崎重工業株式会社神戸工場内

(74)代理人 弁理士 富田 幸春

最終頁に続く

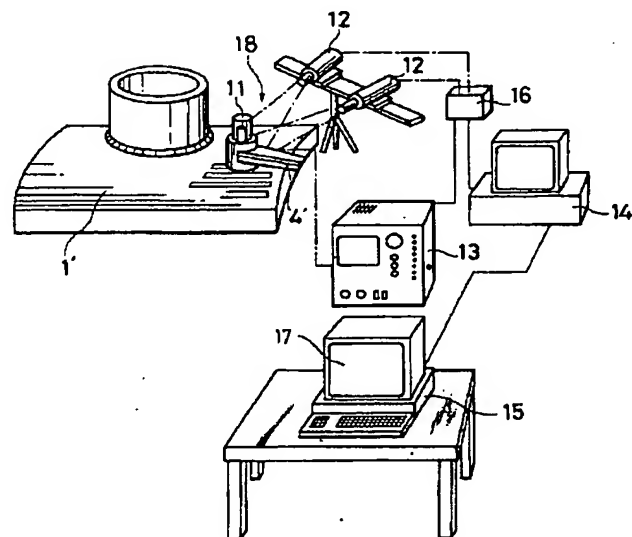
(54)【発明の名称】 超音波探傷検査方法および装置

(57)【要約】

【目的】複雑な自由曲面を有する3次元形状のワーク1'の欠陥部分1'', 1'''を超音波探傷して3次元的に多色グラフィック画像表示をし確実な探傷を行うことが出来るようにする。

【構成】ワーク1'をレーザ計測によりその外面の形状を計測し、又、超音波探触子4'によりCCDカメラ、或いは、PSDカメラ12によりその肉厚、及び、裏面形状を計測し当該データにより3次元グラフィック装置16により多色的に3次元画像表示し欠陥部分のワーク1'の形状との相対位置関係、及び、サイズ位置等を確実に識別し探傷条件を決定し、これを記録し後期の探傷、及び、他のワークの超音波探傷の参考データに供する。

【効果】ワーク1'の形状と欠陥部分1'', 1'''の位置姿勢サイズを3次元的に画像表示し、精度の良い欠陥部分の測定、及び、対処方法を確定することが出来、又、空中計測や水中探傷を2元的に行うことなく、1つの処理環境中で対処作業を行うことが出来る。



【特許請求の範囲】

1. 3次元曲面を有する検査対象物の超音波探傷検査方法であって、(a) 検査対象物の3次元形状を計測してその形状を表す形状データを得、(b) 前記検査対象物を超音波探触子を用いて計測してその探傷結果を表す探傷データを得、(c) 前記形状データに基づいて作成された前記検査対象物の3次元グラフィック画像に、前記探傷データに基づいて作成された欠陥部分の3次元グラフィック画像を重ね合わせた合成画像を表示スクリーン上に表示するステップを含む超音波探傷検査方法。

2. 請求項1に記載の超音波探傷検査方法において、前記ステップ(a)で、前記形状データは、前記検査対象物の外面の形状を計測して得る超音波探傷検査方法。

3. 請求項1に記載の超音波探傷検査方法において、前記ステップ(a)で、前記形状データは、前記検査対象物の内面の形状を計測して得る超音波探傷検査方法。

4. 請求項1に記載の超音波探傷検査方法において、前記ステップ(a)で、前記形状データは、前記検査対象物の内面および外面の形状を計測して得る超音波探傷検査方法。

5. 請求項1に記載の超音波探傷検査方法において、前記ステップ(a)の計測結果に基づいて、前記ステップ(b)での探傷方法を決定する超音波探傷検査方法。

6. 請求項5に記載の超音波探傷検査方法において、前記探傷方法として、前記超音波探触子の探傷アプローチ位置、操作方向、操作速度、屈折角、方向、使用周波数および振動子寸法のうちの少なくとも1つが決定される超音波探傷検査方法。

7. 請求項1に記載の超音波探傷検査方法において、前記ステップ(c)での前記合成画像の表示に複数のカラーを用いた超音波探傷検査方法。

8. 請求項1に記載の超音波探傷検査方法において、前記ステップ(a)で、前記形状データは、前記検査対象物の外面の形状をタッチセンサ手段で計測して得る超音波探傷検査方法。

9. 請求項1に記載の超音波探傷検査方法において、前記ステップ(a)はさらに、(a1) 前記超音波探触子に少なくとも3つ以上のLEDを搭載した走査子によって、前記検査対象物の3次元形状の外面を走査し、(a2) 前記走査子の前記LEDからの投射光を位置検知装置(PSD)またはCCDカメラで検出することにより、前記探触子の先端の位置および姿勢を算出して、前記検査対象物の外面の形状データを得るサブステップを含む超音波探傷検査方法。

10. 請求項1に記載の超音波探傷検査方法において、前記ステップ(a)はさらに、(a1) 前記超音波探触子に少なくとも3つ以上のLEDを搭載した走査子によって、前記検査対象物の3次元形状の外面を走査し、(a2) 前記走査子の前記LEDからの投射光をPSDまたはCCDカメラで検出することにより、前記探触子

の先端の位置および姿勢を算出して、前記検査対象物の外面の形状データを得、(a3) 前記超音波探触子を距離計測に用いて、前記検査対象物の内面の形状データを得るサブステップを含む超音波探傷検査方法。

11. 請求項1に記載の超音波探傷検査方法において、前記ステップ(a)はさらに、(a1) 前記超音波探触子に少なくとも3つ以上のLEDを搭載した走査子によって、前記検査対象物の3次元形状の外面および内面を走査し、(a2) 前記走査子の前記LEDからの投射光をPSDまたはCCDカメラで検出することにより、前記探触子の先端の位置および姿勢を算出して、前記検査対象物の外面および内面の形状データを得るサブステップを含む超音波探傷検査方法。

12. 請求項9に記載の超音波探傷検査方法において、前記複数のLEDを用いる前記検査対象物の外面の形状データと、前記超音波探触子を用いる前記検査対象物の探傷データとを前記走査子の走査で同時に得る超音波探傷検査方法。

13. 請求項10に記載の超音波探傷検査方法において、前記複数のLEDを用いる前記検査対象物の外面形状データと、前記超音波探触子を用いる前記検査対象物の内面の形状データとを前記走査子の走査で同時に得る超音波探傷検査方法。

14. 3次元曲面を有する検査対象物の超音波探傷検査方法であって、(a) 超音波探触子に少なくとも3つ以上のLEDを搭載した走査子によって、前記検査対象物を走査し、(b) 前記走査子の前記3つ以上のLEDをPSDまたはCCDカメラによって検出することにより、前記検査対象物の3次元形状を計測してその形状を表す形状データを得、(c) 前記走査子の前記超音波探触子を用いて前記検査対象物を探傷することにより、その探傷結果を表す探傷データを得、(d) 前記形状データおよび前記探傷データに基づいて、前記検査対象物内の欠陥部分の位置を3次元的に求めるステップを含む超音波探傷検査方法。

15. 請求項14に記載の超音波探傷検査方法において、前記ステップ(c)で求めた前記検査対象物と前記欠陥部分との3次元的な位置関係を表示スクリーン上に3次元グラフィック表示する超音波探傷検査方法。

16. 3次元曲面を有する検査対象物の超音波探傷検査方法であって、(a) 検査対象物の3次元形状を表す形状データを記憶装置から入力し、(b) 超音波探触子を用いて前記検査対象物を探傷することにより、その探傷結果を表す探傷データを得、(c) 前記形状データおよび前記探傷データに基づいて、前記検査対象物内の欠陥部分の位置を3次元的に求めるステップを含む超音波探傷検査方法。

17. 請求項16に記載の超音波探傷検査方法において、前記ステップ(b)はさらに、(b1) 前記超音波探触子に少なくとも3つ以上のLEDを搭載した走査子

によって、前記検査対象物の 3 次元形状の外表面を走査し、(b 2) 前記走査子の前記 LED からの投射光を PSD または CCD カメラで検出することにより、前記探触子の先端の位置および姿勢を算出して、前記入力した形状データにおける前記走査子の位置を得、(b 3) 前記探傷データを前記走査子の前記検査対象物上の位置に関連させるサブステップを含む超音波探傷検査方法。

18. 3 次元曲面を有する検査対象物の超音波探傷検査装置であって、

検査対象物の 3 次元形状を計測してその形状を表す形状データを取得する手段と、

前記検査対象物を計測してその探傷結果を表す探傷データを取得する超音波探触子と、

前記形状データに基づいて作成された前記検査対象物の 3 次元グラフィック画像に、前記探傷データに基づいて作成された欠陥部分の 3 次元グラフィック画像を重ね合わせた合成画像情報を作成する手段と、

前記合成画像情報に基づいて、合成画像を表示スクリーン上に表示する手段とを含む超音波探傷検査装置。

19. 請求項 18 に記載の超音波探傷検査装置において、前記形状データを取得する手段は、前記検査対象物の外表面および内面の少なくとも一方の形状データを含む超音波探傷検査装置。

20. 請求項 18 に記載の超音波探傷検査装置において、前記形状データに基づいて、前記超音波探触子の探傷方法を決定する手段とさらに含む超音波探傷検査装置。

21. 請求項 20 に記載の超音波探傷検査装置において、前記探傷方法として前記超音波探触子の探傷アプローチ位置、走査方向、走査速度、屈折角、方向、使用周波数および振動子寸法のうちの少なくとも 1 つが決定される超音波探傷検査装置。

22. 請求項 18 に記載の超音波探傷検査装置において、前記合成画像情報作成手段は、前記合成画像の表示に複数のカラー表示を可能にした超音波探傷検査装置。

23. 請求項 18 に記載の超音波探傷検査装置において、前記形状データを取得する手段はさらに、前記超音波探触子に少なくとも 3 つ以上の LED を搭載した走査子と、

前記検査対象物の 3 次元形状の外表面を前記走査子で走査する手段と、

前記走査子の前記 LED からの投射光を検出する手段と、

前記検出手段からの出力に基づいて、前記探触子の先端の位置および姿勢を算出して、前記検査対象物の外表面の形状データを取得する手段とを含む超音波探傷検査装置。

24. 請求項 18 に記載の超音波探傷検査装置において、前記形状データを取得する手段はさらに、前記超音波探触子に少なくとも 3 つ以上の LED を搭載した走査子と、

前記検査対象物の 3 次元形状の外表面を前記走査子で走査する手段と、

前記走査子の前記 LED からの投射光を検出する手段と、

前記検出手段からの出力に基づいて、前記探触子の先端位置および姿勢を算出して、前記検査対象物の外表面の形状データを取得する手段と、

前記超音波探触子を距離計測に用いて、前記検査対象物の内面の形状データを取得する手段とを含む超音波探傷検査装置。

25. 請求項 18 に記載の超音波探傷検査装置において、前記形状データを取得する手段はさらに、前記超音波探触子に少なくとも 3 つ以上の LED を搭載した走査子と、

前記検査対象物の 3 次元形状の外表面および内表面を前記走査子で走査する手段と、

前記走査子の前記 LED からの投射光を検出する手段と、

前記検出手段からの出力に基づいて、前記探触子の先端の位置および姿勢を算出して、前記検査対象物の外表面および内表面の形状データを取得する手段とを含む超音波探傷検査装置。

26. 請求項 23 に記載の超音波探傷検査装置において、前記複数の LED を用いる前記検査対象物の外表面の形状データと、前記超音波探触子を用いる前記検査対象物の探傷データとを前記走査子の操作で同時に取得する超音波探傷検査装置。

27. 請求項 24 に記載の超音波探傷検査装置において、前記複数の LED を用いる前記検査対象物の外表面の形状データと、前記超音波探触子を用いる前記検査対象物の内面に形状データとを前記走査子の操作で同時に取得する超音波探傷検査装置。

28. 3 次元曲面を有する検査対象物の超音波探傷検査装置であって、超音波探触子に少なくとも 3 つ以上の LED を搭載した走査子と、

前記走査子で前記検査対象物を走査する手段と、

前記走査子で前記 3 つ以上の LED からの投射光を検出する手段と、

前記検出手段からの出力に基づいて、前記検査対象物の 3 次元形状を計測してその形状を表す形状データを取得する手段と、

前記走査子の前記超音波探触子を用いて前記検査対象物を探傷することにより、その探傷結果を表す探傷データを取得手段と前記形状データおよび前記探傷データに基づいて、前記検査対象物内の欠陥部分の位置を 3 次元的に求める手段とを含む超音波探傷検査装置。

29. 請求項 28 に記載の超音波探傷検査装置において、さらに、前記位置を求める手段からの出力に応答して、前記検査対象物と前記欠陥部分との 3 次元的な位置

関係を表示スクリーン上に3次元グラフィック表示する表示手段を含む超音波探傷検査装置。

30. 3次元曲面を有する検査対象物の超音波探傷検査装置であって、

検査対象物の3次元形状を表す形状データを記憶装置から入力する装置と、

超音波探触子と、

前記超音波探触子を用いて前記検査対象物を探傷することにより、その探傷結果を表す探傷データを得る手段と、

前記形状データおよび前記探傷データに基づいて、前記検査対象物内の欠陥部分の位置を3次元的に求める手段とを含む超音波探傷検査装置。

31. 請求項30に記載の超音波探傷検査装置において、

前記超音波探触子に少なくとも3つ以上のLEDを搭載して構成した走査子と、

前記走査子によって、前記検査対象物の3次元形状の外表面を操作する手段と、

前記走査子の前記LEDからの投射光を検出する手段と、

前記探触子の先端の位置および姿勢を算出して、前記入力した形状データにおける前記走査子の位置を得る手段と、

前記探傷データを前記走査子の前記検査対象物上の位置に関連させる手段とを含む超音波探傷検査装置。

【発明の詳細な説明】

【産業上の利用分野】本発明は、超音波を用いた探傷検査方法および装置に関し、特に複雑な3次元的自由曲面形状を有する部品の超音波探傷検査方法および装置に関する。

【従来の技術】周知の如く、市民社会の隆盛に伴い、産業は高度に発達し、その上昇機運はとどまるところを知らない。これらの市民社会、産業経済を支持している各種の機器装置の類いは、その本来的な機能を新規設置時は勿論のこと、長期にわたって十分に維持することが求められるものである。ところで、通常多くの機器装置は化学技術の進展に伴い、複雑な機能を果すべく複数部品から成り立っている場合が殆どである。したがって、組立て、係合構造も立体的に複雑になり、上記機能を充分維持するためには新規設置時は勿論のこと、定期、不定期の機能検査が不可欠となる。実状態様によっては定期検査について法的規制を義務付けられている場合もある。これらの機器装置は新規設置時は勿論のこと、稼動中の定期、不定期の機能検査は本来的には分解して個々の部品または部品ユニット（以下総称して「部品」と呼ぶ）ごとに保守整備をかねて点検することが望まれるものではある。しかし、複雑な組付け、係合構造を有する部品においてはその分解による検査が極めて煩瑣で、又、経済的に見合わず、稼動効率を低下させる。又、場

合によると分解検査によること自体が部品の機能を損う場合もあることから非破壊的な検査が広く用いられるようになった。近時多くの機器装置が金属製品等であること等と相俟って、例えば、JP-A-53-143293, JP-A-57-27691号, JP-A-62-21014に開示された超音波による非破壊検査が重用されてきている。機器装置の部品が単純な平面やパイプ等の曲面形状の場合には超音波による探傷システムもシンプルで熟練を要することも少かった。しかし、近時自動車、船舶、航空機、発電設備等の機械装置には、例えば、タービンブレード、ポンプケーシング、主蒸気管継手、大型弁、管台等の複雑な3次元的自由曲面を有する形状のものが広く用いられている。就中、原子力施設、医療施設、研究所等においてはこれらの複雑形状の部品の完全に近い経年的機能維持が強く求められる。したがって、容易には分解検査が行えない事情等から当該複雑な3次元自由曲面の形状を有する部品の超音波探傷が求められる。しかも、当該探傷データを衡器の或いは、他の同一、類似装置等の延命化の研究目的のためバックアップデータとして記録保持されることが求められてきている。しかし、かかる複雑な3次元自由曲面の形状を有する部品に対する超音波探傷は、既に、確立されて実用化されている単純平面や曲面の部品に対する超音波探傷システムでは対応出来ない本質的な欠点があった。部品、すなわち、検査対象物の形状を示す画像に欠陥像を画像として重ね合わせて描けないために検査対象物の形状から反射してきたエコーと欠陥からのエコーを識別できない。即ち、検査対象物の画像が無い場合、或いは、その画像があっても外面腐食がある場合や、表示画像通りに検査対象物が製作されていない場合には、内外面の形状を把握しないと最適な探傷条件が決定できなかったり、超音波を使って探傷した結果、得られたエコーが検査対象物の内面からのエコーか、欠陥からのエコーかが判別できなかったからである。ここで、探傷条件としては、具体的には、例えば、探傷アプローチ位置、スキニング方向、探触子の屈折角、探触子の使用周波数、探触子の振動子寸法、探触子の向きおよびスキニング速度がある。そこで、これらのニーズに応じてコンピュータ技術を駆使してレーザ技術、距離計測技術を利用した自由曲面形状の部品に対する超音波探傷システムが開発されてはいるが、技術上周知の如く本来的なニーズに充分応えられないという不具合があった。即ち、図3、図4に例えば、タービンブレードのような複雑な3次元的自由曲面の形状を有する検査対象物1の気泡や剥離等の深い肉厚内部に在る欠陥部分a、bおよびcに対する超音波探傷を行うシステム2において検査する様子が示されている。図3に示す様に、先ず、レーザ距離計測装置3を探触子としてロボットのハンド4に取り付けて検査対象物1に対し空中にてその表面形状の計測を行う。ロボットハンド4は6軸同期駆動装置5により駆動される。

パソコン 6 により制御され検査対象物 1 の形状が計測される。その計測データをミニコン 7 でデータ処理する。次に超音波探傷装置 8 を介し水中にて検査対象物 1 に対する欠陥部分 a, b, c の超音波探傷を行う。その際、探触子の動作については上記レーザ計測装置 4 によって得られた検査対象物 1 の形状計測データに基づく計算を介して移動径路をミニコン 7 により制御操作する。したがって、図 4 に示す様に、検査対象物 1 の上半面をミニコン 7 のスクリーン 10 に矩形状の画像 10' として表示するようにされている。図 4 の画像 10' には欠陥部分 a, b, c にそれぞれ対応する欠陥画像 a', b', c' が示されている。なお、図 3 の 9 は超音波探傷装置 8 からのデータと同期駆動装置 5 からのデータとに基づいて画像解析を行なう画像解析装置である。しかしながら、上述在来システムによる 3 次元自由曲面の形状を有する検査対象物の肉厚欠陥部分に対する超音波探傷方法にあっては、該被検査部品の肉厚内の欠陥部分に対する 3 次元的な探傷といっても、基本的には検査対象物の外側の自由曲面の形状計測に基づいて行なわれる探触子によるスキニングである。したがって、実際には、図 4 に示す様な検査対象物の画像表示 10' は平面表示であって（肉厚部の様子は表示されない）、3 次元表示とはならない。したがって、検査対象物の 3 次元的全形状に関する肉厚部内部の欠陥部分の相対的な位置、傾きおよびサイズの計測、及び、探触子によるデータ解析が出来ないという欠点があり、又、モノクローム表示であることから、識別性能に劣るという不具合がある。そして、探傷結果の画像 10' の表示は図 4 に示す様に、矩形状の展開図的画像であることから、検査対象物の立体的な内外部を含む全形状が表示されない。又、外表面はともかくとして、欠陥部の在る重要な内面、裏面形状の計測が行われないという不都合もあった。そして、計測は空中で行い、探傷は水中で行われているという二元性から、形状計測時と探傷時との作業環境が変化し、検査対象物 1 の取り付け、取りはずしが著しく煩瑣であり、その際の調整が不便であり、非能率的であるという問題点があった。又、検査対象物 1 の水中での浸漬状態が好ましくなく、又、検査対象物前後における水ジェットの吹付けも好ましくないような場合には、代替処理が著しく難しいという難点がある。そして、上述在来態様においては検査対象物の超音波探傷を水中にて浸漬態様で行うために、セラミックス製品や小物に検査対象物を限定されるという取扱いの自由度の低さがあった。又、検査対象物の内外面に形状計測を行わないためにスクリーン上の画像表示が 3 次元的にされないことも相俟って超音波伝播径路が検討出来ないことから、検査対象物の 3 次元形状に適した探傷条件の検討が即座に出来ないという問題点があった。さらに、計測結果のデータをリアルタイムでスクリーン上に表示できないために、欠陥部分の識別も容易で無く効率的で無いという問題点

があった。さらに、探傷に際して前述した如く検査対象物の内面形状や裏面形状からのエコーと本来的な欠陥部分からのエコーとの識別が困難であるという好ましくない点があった。さらに、レーザによる形状計測や超音波探触子による探傷を行うに際してのビーム照射がスポット的な座標抽出によって行われることから、ビーム寸法の関係上、全領域を同時にカバー出来ない。検査対象物に細い凹凸がある場合にはレーザにより計測した形状と超音波探傷上必要な形状とが一致せず探触子の位置や方向が定まらない。スポット的な座標抽出に加えて得られたエコーの値に補正をかけねばならず、結果的により正確な処理が出来ないという問題点があった。さらに、6 軸同期駆動装置を用いることにより探触子のスキニングの自由度やスキニングエリアの自由度が小さいという問題点もあった。さらに、これらのことは前述した如く検査対象物に関して矩形状の画像表示を行うことで、探傷用の超音波エコーの立体的な識別や把握が出来ないことにつながるものであった。

【発明の開示】本発明の目的は、複雑な 3 次元自由曲面を有する検査対象物を超音波で探傷する場合でも、欠陥部分が正確に把握できる超音波探傷検査方法および装置を提供することにある。本発明の他の目的は、欠陥部分が立体的に表示可能な超音波探傷検査方法および装置を提供することにある。本発明のさらに他の目的は、欠陥部分がリアルタイムで表示可能な超音波探傷検査方法および装置を提供することにある。本発明のさらに他の目的は、検査対象物の取扱いが容易な超音波、探傷検査方法および装置を提供することにある。本発明によれば、各種生産設備等にあつて広く用いられている立体的な 3 次元自由曲面を有する各種機器装置の部品等の新規設置時や経時的稼働中に、機能障害に及ぼす影響が大なる複雑部位に於ける気泡、亀裂、剥離等の内部の欠陥部分に対する非破壊的な超音波探傷のシステムの問題点が解決される。すなわち、超音波探傷の利点を充分に生かしながら、当該探傷対象の部品の複雑な自由曲面を有する立体形状に対する欠陥部分の相互位置関係を 3 次元的に把握できる。しかも、超音波探傷条件をも充分に検出出来、立体的探傷が正確に行える。しかも、探傷検査全体にわたっての検査環境に変化を与えず、処理手段が著しくスムーズにとれる。探傷検査結果の状況もリアルタイムで計測は勿論のこと、視覚的にも認識出来、操作が極めて行い易い。又、探傷検査結果のデータは、後期、或いは、他の類似の探傷の参考データとしても充分に利用することが出来る。この発明の構成は、原子力施設や各種機械製造工場等に用いられている機器装置に組込まれている 3 次元複雑自由曲面の形状を有する部品（ユニット部品を含む）に於ける気泡、亀裂、剥離等の経時的機能に障害を与える虞のある肉厚部内の欠陥部分に対する超音波を 3 次元的に把握して行う場合に好適である。その際、手作業、或いは、ロボットの多関節ハンド等の

先端に探触子を取付け、該探触子にLEDを所定数複数取付けて該LEDをCCDカメラ、或いは、位置検知装置（PSDカメラ）で検出する。そして、検査対象物の外面形状、及び、肉厚部の内部、裏面の3次元形状に計測して該計測データをコンピュータを介し3次元グラフィックで画像（厳密には、3次元形状の任意の2次元画面への投射）表示して探傷条件を決定する。該条件に従って、超音波探傷を行い、それらの結果データを多色的に3次元グラフィック画像表示すると共にリアルタイムで記録する。その結果、当該被検査部品、すなわち、検査対象物の複雑曲面を立体的に把握すると共に併せて、欠陥部分も確認することが出来、併せて、記録した後段等に参考データとして供することが出来る。

発明を実施するための最良の形態

次に、この出願の発明の1実施例を図1、図2を参照して説明する。尚、図3、図4と同一態様部分は同一符号を用いて説明するものとする。図1に示す態様はこの発明に用いる超音波探傷システムである。図2に示す管台のような3次元複雑曲面を有する立体的複雑形状の検査対象物の被検査部品1'の肉厚部内に於る気泡、クラック、剥離等の欠陥部分の超音波探傷に用いられる態様である。尚、図1において、検査対象物1'と各種計測機器等のサイズは図示の都合上、模式的にデフォルメされている。而して、検査対象物1'の複雑な3次元曲面の外面形状が在来態様同様にレーザビーム、或いは、超音波探触子4'にLED11を所定数複数（当該実施例においては3つ）配したものをCCD、或いは、PSD position sensitive device カメラ12によりその位置姿勢を計測する。計測されたデータは計測記録装置16に取込まれ、記録される。該LED11に対しCCD、或いは、PSDカメラ12が対向して臨まれ、該LED11の位置姿勢を検出し、計測記録装置16（センサプロセッサ）に検査対象物1'の肉厚計測、及び、内面計測を行ってそのデータを取込み記録する。3個以上のLED11を探触子4'に搭載して走査子18を構成する。3個以上のLED11の位置データを取り込むことにより走査子18の探触子4'の先端位置および姿勢を判断して、探触子4'の超音波の入射点位置を算出する。尚、かかるLED11、及びCCD、或いは、PSDカメラ12による検出態様はエンコード等を付設した機械治具を操作することによる形状計測も可能ではある。しかし、スキャンニングの自由度、及び、スキャンニング範囲の自由度からしてLEDを用いた計測の方がはるかに精細度等の点で好ましいものではある。本発明の特長の1つは、検査対象物の外面形状を計測するための3個以上のLEDを超音波探触子に取付けて一体として走査子を構成した点にある。この走査子で検査対象物を走査することにより、超音波探触子の計測値と探触子の検査対象物上の位置及び姿勢との関係が正確に求められる。また、超音波探触子の距離計測機能を使えば、3

個以上のLEDを用いて検査対象物の外面形状を計測しているときに同時に探触子を用いて検査対象物の内面の形状を求めることが出来る。また、超音波探触子の探傷機能を使う場合には、3個以上のLEDを用いて検査対象物の外面形状を計測しているときに同時に探触子を用いて検査対象物の探傷を行なうこともできる。この間、或いは、これに伴って図2に示す様な検査対象物1'の欠陥発生部分1'', 1'''を既に構築された過去の検査の欠陥データや作業員の経験判断に基づくデータや応力集中解析等の予測から判断される重要な検査探傷部分として決定してコンピュータ15に入力する。該コンピュータ15によって計測記録装置14に入力されている検査対象物1'の外面形状、及び、肉厚、裏面（内面）形状等の3次元の自由曲面形状に基づいて、次段の超音波探傷における超音波の伝播経路、探傷領域等、当該探傷部分1'', 1'''に対する機械的探傷条件（方法）を決定し、探触子4'を検査対象物1'の外面に所定押付圧で押し付け探触子4'のスキャンニングを行う。該スキャンニングの動作は手動、或いは、ロボットによる動作が可能である。ロボットによる動作では、探触子4'は常に設定押付圧でスキャンニングされるために、押付圧のバラツキによる押込みデータのバラツキは避けられる。又、探触子4'の検査対象物1'の外面に対する直接接触法を用いることによりサイズフリーで大型の検査対象物1'に対する探傷が行え、狭隘な現場に於いても搬入したシステムを用いて現場探傷が可能となる。このようにして組込んだ検査対象物1'の肉厚を含む外面、及び、内面の形状計測データに基づいてコンピュータ15により超音波探傷条件（方法）を決める。それに従って、手動による探傷、或いは、ロボット制御を行い、超音波探触子4'による超音波探傷を行う。この場合、コンピュータ15には音響理論、弾性波解析、及び、モデル実験等のデータベースによる最適探傷条件や決定手法等を予め入力しておくことが出来る。そして、3次元グラフィック画像表示15により図1に示す画面17に検査対象物1'の3次元形状17', 17'を画像表示すると共に探触子4'により超音波探傷された欠陥部分17'''を重ねて多色式画像表示する。この重ね合せは、検査対象物の形状の原点座標および座標各軸の方向を探傷時のそれらと一致させることにより実現される。この場合、3次元グラフィック装置15により検査対象物1'の形状と欠陥部分の画像表示を色分けして多色表示することにより検査対象物1'の外形形状と欠陥部分の相対位置、及び、サイズ等を明瞭に識別することが出来る。勿論、この場合、組込んだ検査対象物1'、及び、欠陥部分の両者を別々に、或いは、両方とも重ねて表示、記録し、次回の検査対象物1'の欠陥探傷や類似検査対象物に対する超音波探傷の参考データとすることが出来る。また、超音波探傷は検査対象物1'の形状の計測とも空中で行うことにより計測探傷の環境変化を避

け、水中での計測を嫌う部品に対する空中での計測探傷を行うことが出来る。そして、超音波探傷条件が前述した如く予め決められているために、又、リアルタイムで多色式な3次元グラフィック画像表示が出来るために、検査対象物1'の内部を隈なく探傷出来る。したがって、検査対象物の形状に基づくエコーと欠陥部分のエコーとが明瞭に識別出来、もれなく隈なく探傷することが出来る。尚、この発明の実施態様は上述実施例に限るものでないことは勿論であり、例えば、対象とするワークは管台に限るものではなく、例えば、ポンプケーシング、主蒸気管継手、大型弁等種々の態様が採用可能である。又、設計変更的には検査対象物に対する探触子を直接接触式に代えて非接触式にする等の設計変更の範囲内である。次に、本発明の超音波探傷方法の一実施例についてその動作を図5および図6に示すフローチャートを参照しながら説明する。先ず、図5および図6において、ステップ20で検査対象物1'を決定する。次に、ステップ21で決定された検査対象物1'の3次元形状の計測を以前行ったことがあるかどうか計測記録装置14またはコンピュータ15に記憶されたデータベースを10 検索することにより判定する。その検査対象物1'の形状の計測データがあれば、ステップ22に進み、超音波を用いて検査対象物1'の探傷を行なう。探傷検査が終了すると、ステップ23で、検査対象物1'の形状データと探傷データとを合成して表示スクリーン17に欠陥部分の状態17''を3次元形状の検査対象物1'の表示17'、17'に重ね合わせて表示する。形状データおよび探傷データの各々、および/または合成されたデータは、ステップ24で所定のファイル形式でファイルにされ、ステップ25で図示しない外部記憶装置に検査記録として記憶される。この検査記録は、必要に応じて、欠陥の有害度評価および合否判定に使用される。次に、ステップ21で、検査対象物1'の形状の計測データがなかった場合、ステップ27に進む。ステップ27では検査対象物1'の形状を例えばCADシステムを用いることにより肉厚などが正確に得られるデータとして保存されているかどうかを判定する。判定の結果、正確な形状を示すデータがある場合は、ステップ28へ進む。ステップ28で正確な形状を示す形状データをコンピュータ15へ入力する。ステップ29で、入力された形状データに基いて、検査対象物1'の探傷検査すべき重要検査部1'', 1''を決定する。ステップ30で、探傷検査時に探傷可能アプローチ領域の評価をコンピュータ15を用いて検討する。ステップ31で、超音波探触子を用いた最適な探傷条件(方法)を決定する。探傷条件が決定されると、ステップ22へ進み、以後既に説明したステップを実行する。一方ステップ27で、検査対象物1'の形状に関する正確なデータがないと判定された場合は、ステップ32に進む。ステップ32で検査対象物1'の外形図程度の形状データは得られるかどうかを判定

する。このような程度の形状データも得られない場合は、ステップ33へ進み、機械的な簡易計測を行なった上でステップ34からステップ37までを実行する。ステップ32で、検査対象物1'の外形図程度の形状データが得られる場合は、その形状データに基いてステップ34～ステップ37までを実行する。なお、ステップ34～ステップ37は、それぞれステップ28～ステップ31とほとんど同じである。ステップ37で、探傷条件(方法)が決定されると、ステップ38へ進む。ステップ38では探傷に必要な装置(構造物)の条件(範囲)を決定する。次に、ステップ39で、検査対象物1'の内面形状の計測方法を決定する。ステップ40でLEDターゲット付探触子を用いて検査対象物1'の内外面形状を示す正確な形状データを得る。次に、ステップ41で、この得られた形状データを用いて、検査対象物1'をグラフィック表示し、探傷位置を詳細に決定する。その後、ステップ22へ進み、上述したステップ22～26の操作を実行する。この発明によれば、航空機、船舶、自動車、更には、原子力施設等の各種機器装置類に用いられるユニット機器の3次元の複雑曲面を有する形状の構造物に対する非破壊検査での超音波探傷において、その形状と内部の計測を計測データに基づいて両者を合成して三次元グラフィック多色式に画像表示することにより検査対象物の外面形状は勿論のこと、内外面形状に対する欠陥部分の相対位置姿勢、サイズを共々画像表示し、しかも、両者を色別表示することにより全体把握は勿論のこと、全体に対する欠陥部の相対識別をクリアーに、しかも、リアルタイムで計測出来るという優れた効果が奏される。したがって、超音波探傷において、当該検査対象物における欠陥部分の3次元的位置把握が出来、確実な探傷を行えるという優れた効果が奏される。又、探傷中においても、超音波の伝播経路を測定することは可能であることにより、当該検査対象物に対する最適超音波探傷条件や方法を決定することが出来、この点からも最適探傷が正確に設定通りに行えるという優れた効果が奏される。しかも、データについて即時記録することにより後期の探傷や類似部品に対する超音波探傷の強力なバックアップデータとして参考と供することが出来るという優れた効果も奏される。而して、レーザ、或いは、LEDが取り付けられた超音波探触子とCCD(PSD)の組合せた形状計測装置による外形計測に、併せて、超音波肉厚計測により検査対象物の外面形状は勿論のこと、肉厚、及び、内面の形状をも計測することが出来、3次元グラフィックの画像表示において欠陥部分の相対表示を行って、作業者の走査操作が直接、且つ、正確に行え得るという優れた効果もある。そして、計測と超音波探傷とを空中、及び、水中と異なる環境でなく、1つの環境化で行うことが出来るために、環境対応の検査対象物の適用条件等を選択せず、探傷の自由度が著しく高まるという利点もある。したがって、検

13

査対象物のサイズ形状等に捕らわれずに安易に探傷することが出来るという弾力性を向上させる効果もある。又、検査対象物の形状計測を行ったデータに対し超音波探傷データを補正して3次元グラフィック画像表示、及び、その記録が取れることから探触子の位置姿勢をも測定することが出来、超音波の入射方向が明確になり従来の2次元表示等による入射方向の補正等をしなくても済むという効果もある。

産業上の利用可能性

本発明によれば、原子力施設、医療施設および研究所に

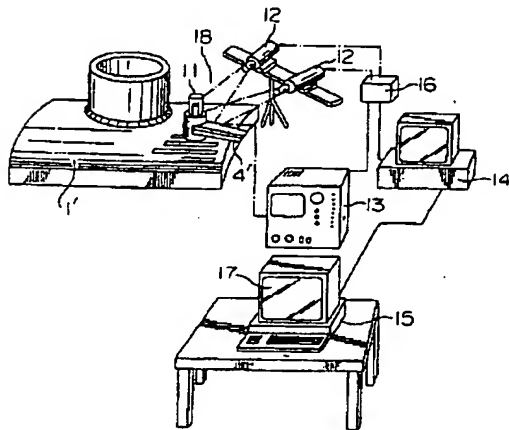
10

野における複雑な3次元自由曲面を有する部品に対して正確な探傷を行なえる。

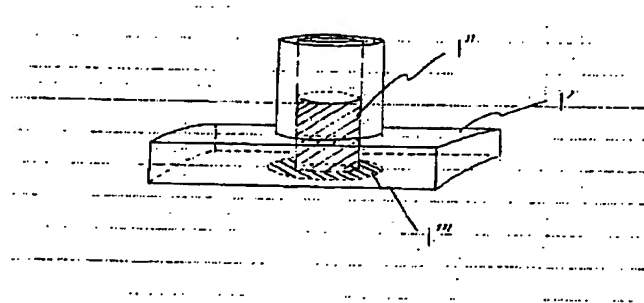
【図面の簡単な説明】

図1はこの発明の超音波探傷検査システムの実施例の模式斜視図である。図2は適用対象の検査対象物の部分断面構造図である。図3は従来技術に基づく画像表示の検査対象物の超音波探傷のシステム模式図である。図4は図3図示のシステムによる欠陥表示の模式図である。図5および図6は、図1図示のシステムの探傷検査方法を示すフローチャートである。図7はこの出願の発明の1実施例の概略斜視図である。

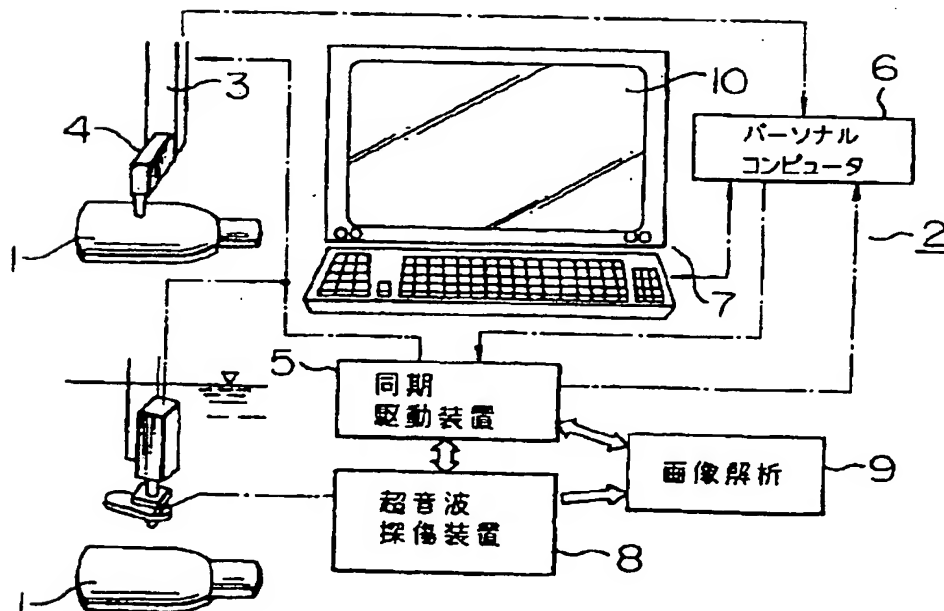
【図1】



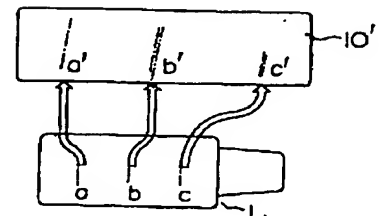
【図2】



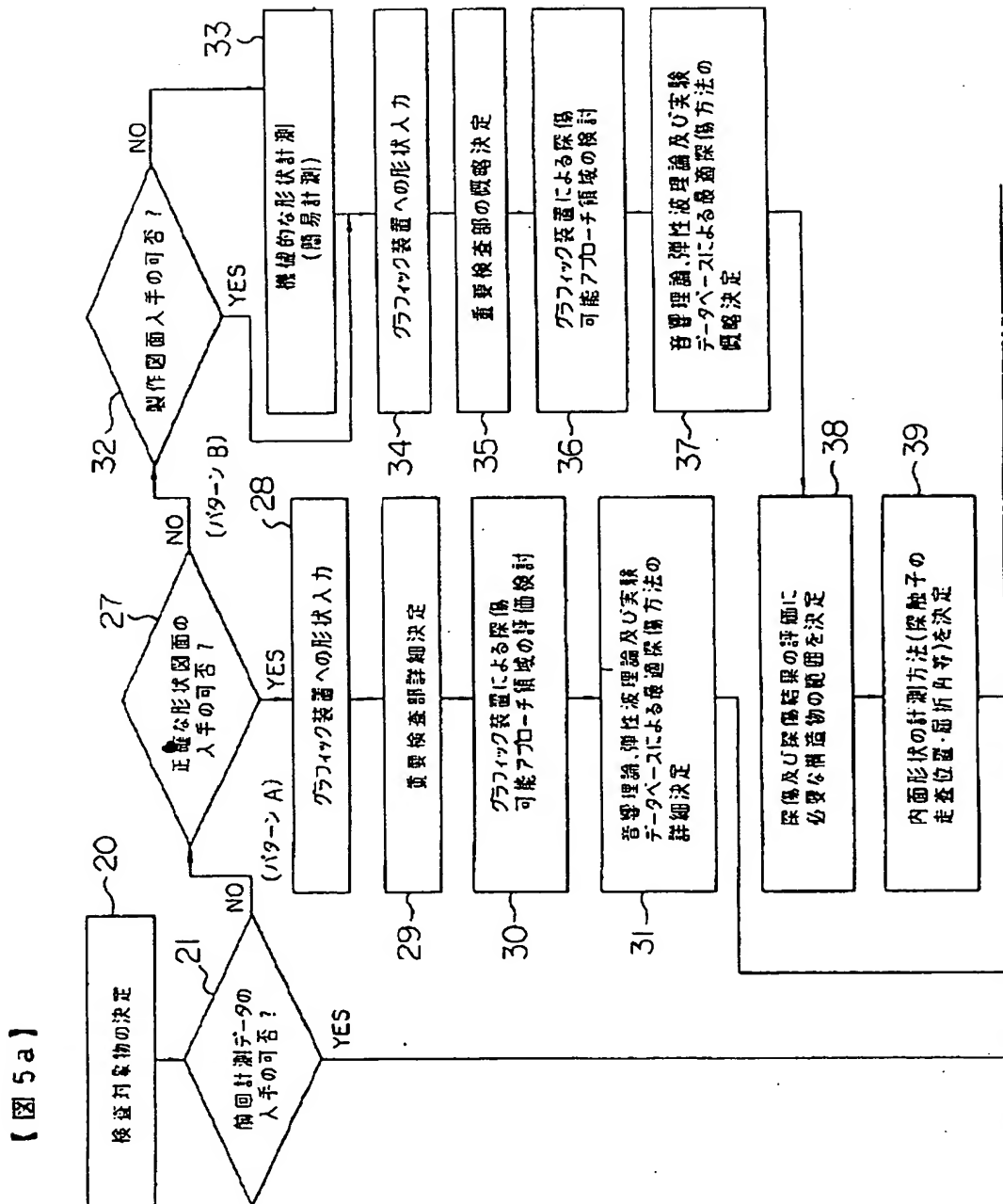
【図3】



【図4】

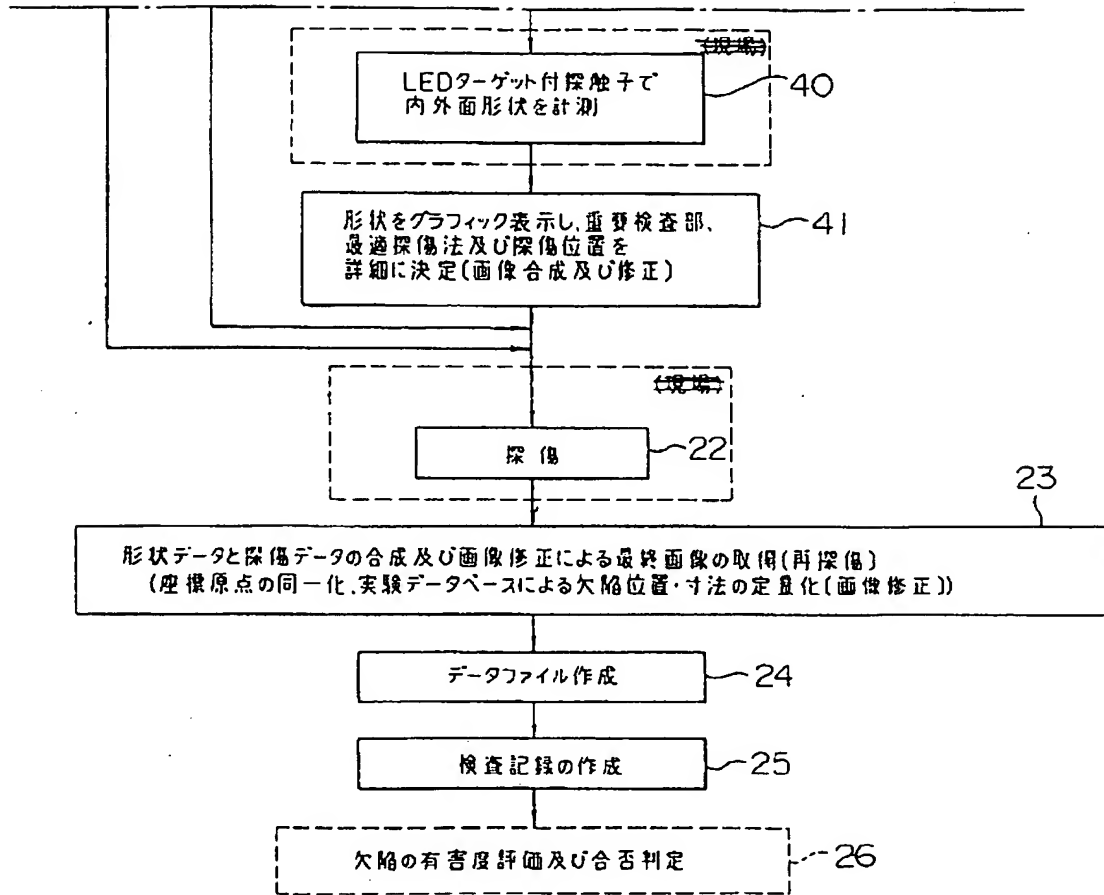


【図5a】

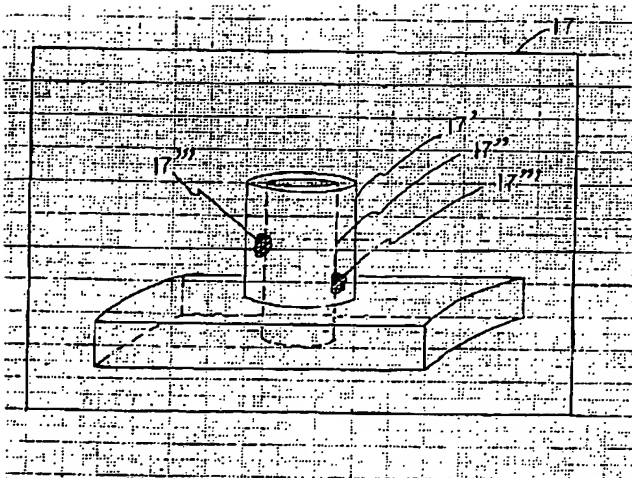


【図5b】

【図5b】



【図6】



【手続補正書】

【提出日】平成5年9月20日

【手続補正2】

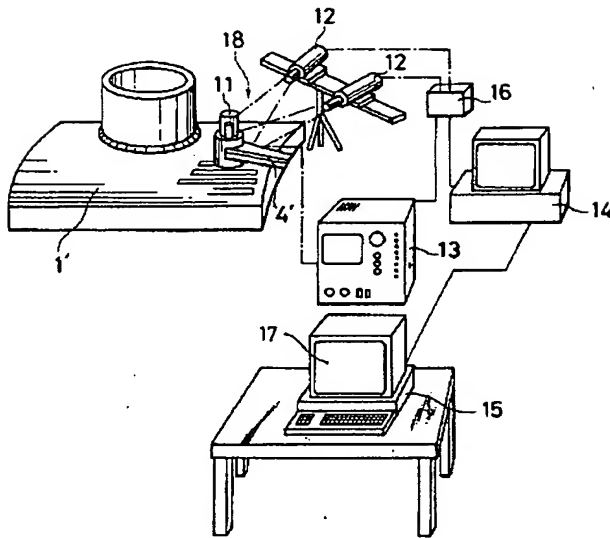
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】全図

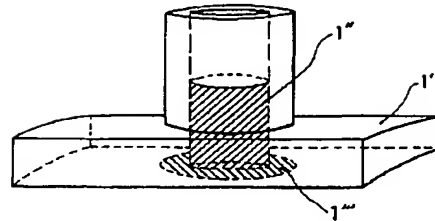
【補正方法】変更

【補正内容】

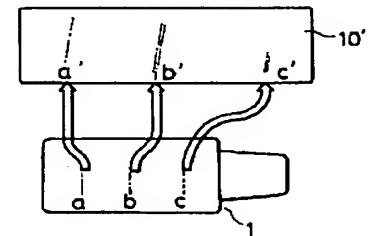
【図1】



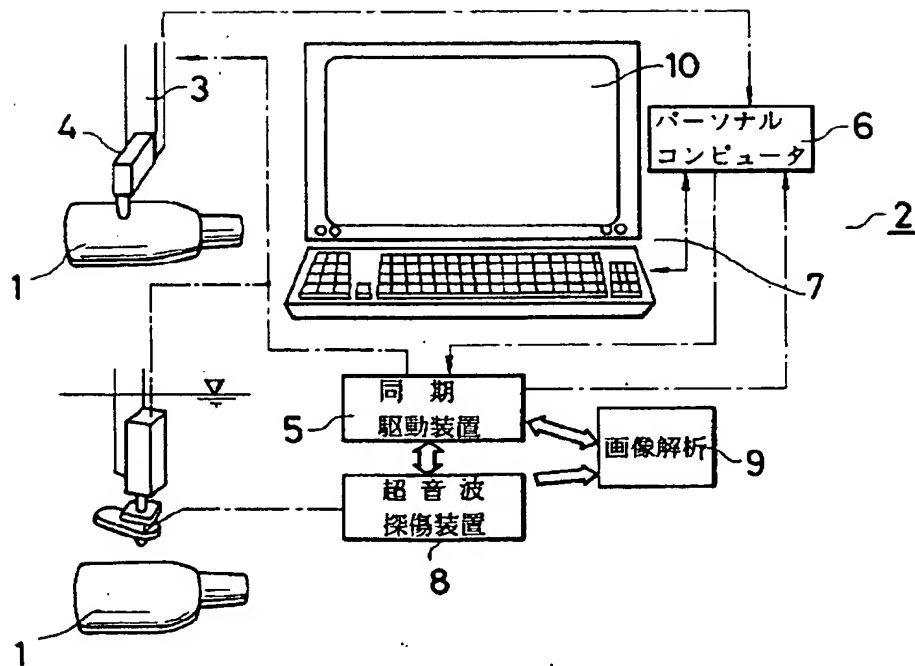
【図2】



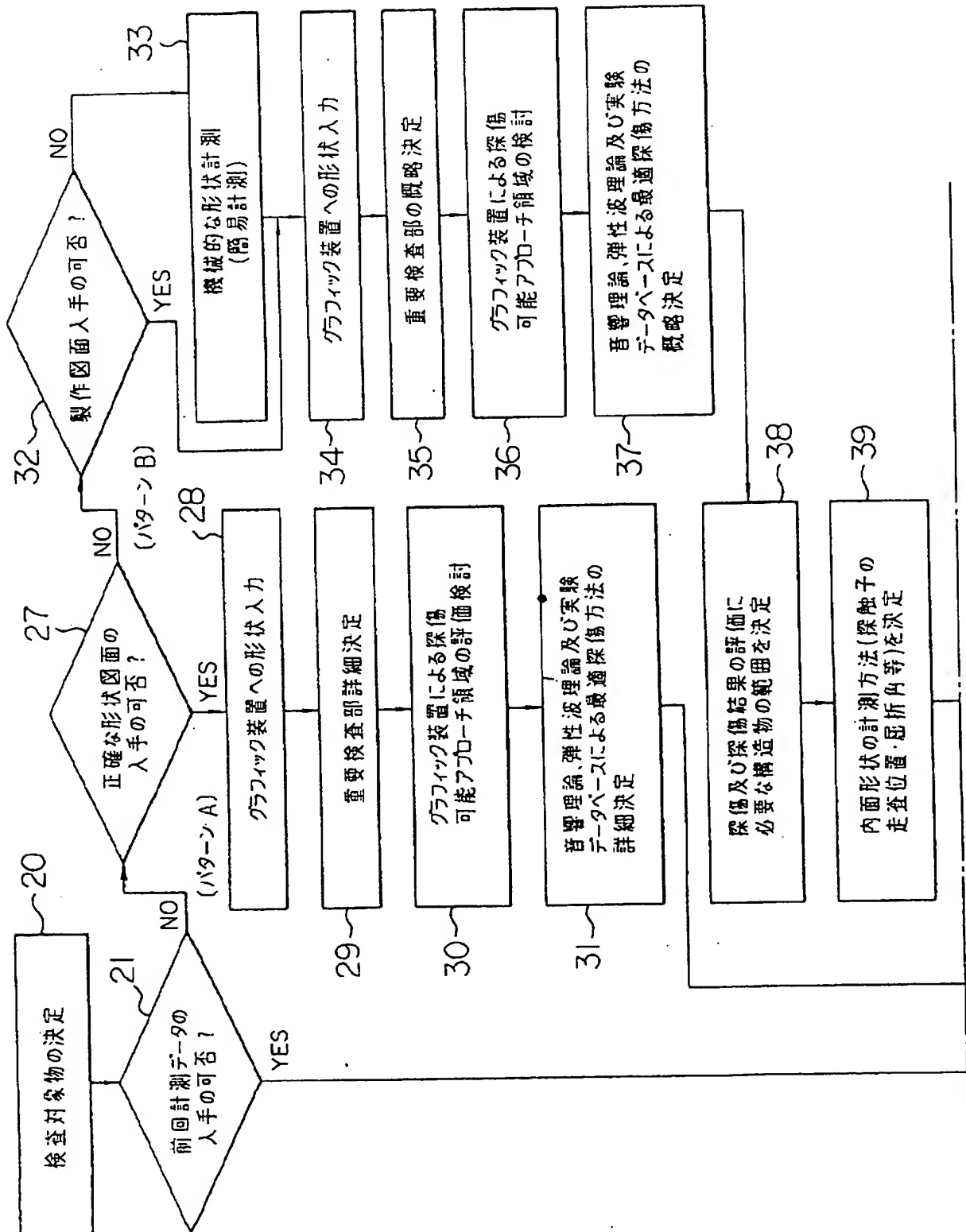
【図4】



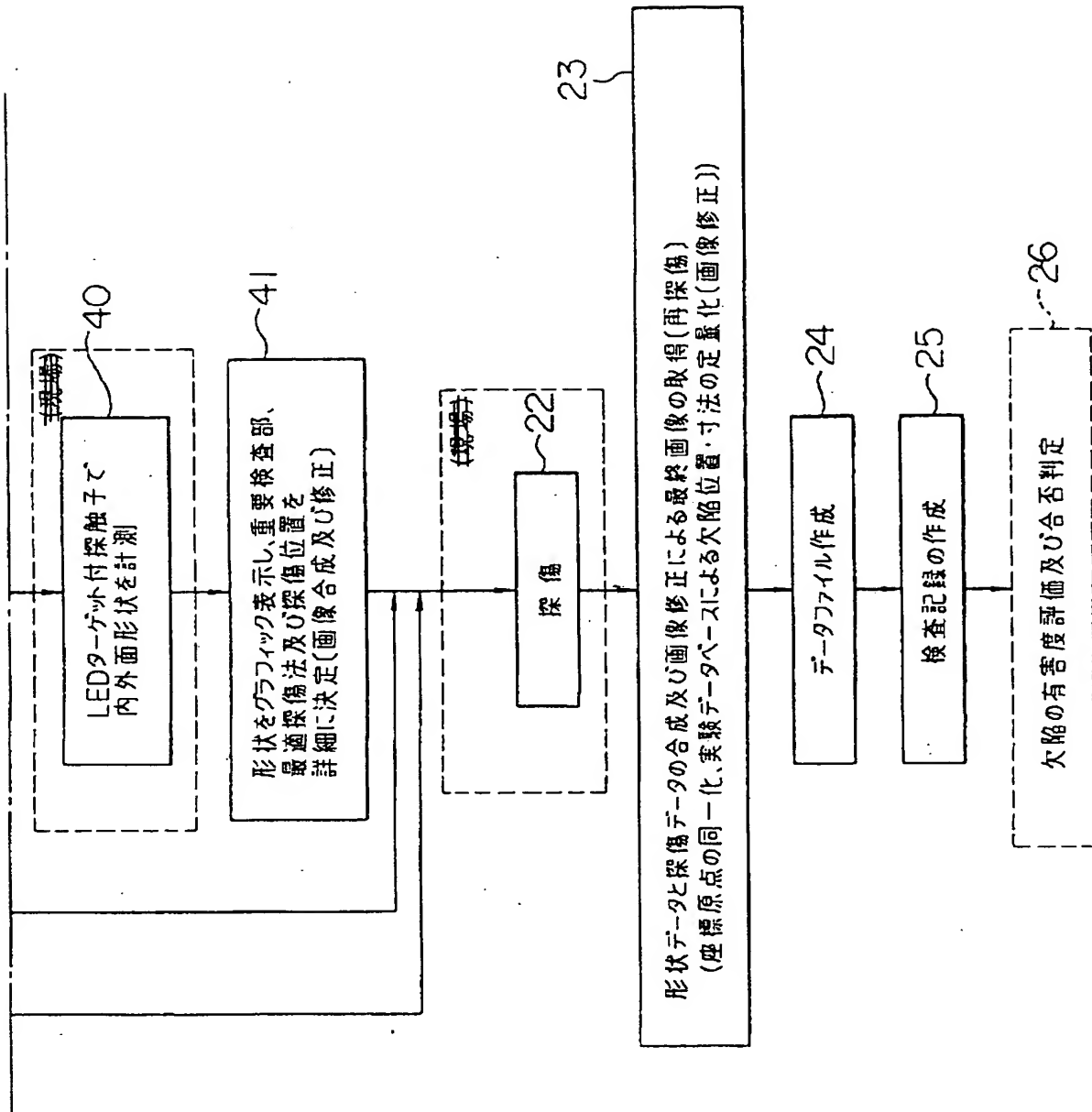
【図3】



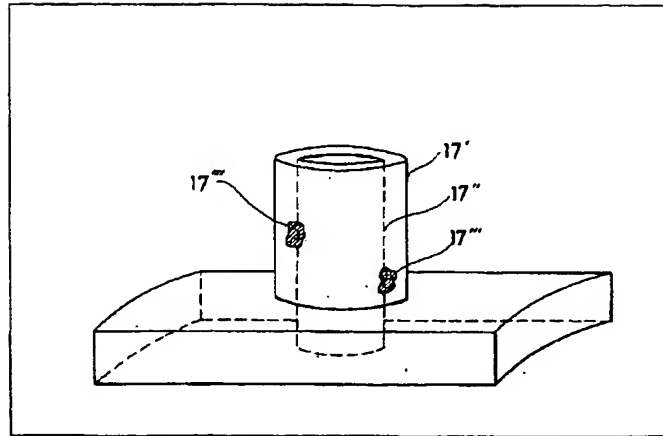
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

- (72)発明者 緒方 隆昌
兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号 川崎重工業株式会社神戸工場内
- (72)発明者 平澤 英幸
兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号 川崎重工業株式会社神戸工場内
- (72)発明者 三隅 隆也
兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社明石工場内
- (72)発明者 上田 澄広
兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社明石工場内
- (72)発明者 三木 修武
兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社明石工場内

- (72)発明者 大脇 博雄
兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社明石工場内
- (72)発明者 古池 治孝
兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社明石工場内
- (72)発明者 杉田 雄二
愛知県名古屋市緑区大高町字北関山20番地の1 中部電力株式会社電力技術研究所機械研究室内
- (72)発明者 恩田 勝弘
愛知県名古屋市緑区大高町字北関山20番地の1 中部電力株式会社電力技術研究所機械研究室内
- (72)発明者 奥村 孝章
愛知県名古屋市緑区大高町字北関山20番地の1 中部電力株式会社電力技術研究所機械研究室内